

УДК 621.004.6:658.562

UDC 621.004.6:658.562

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

4.3.1 Technologies, machines and equipment for agro-industrial complex

НЕПРЕРЫВНЫЙ ВЫБОРОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

CONTINUOUS SAMPLING CONTROL OF REMANUFACTURED PARTS QUALITY IN SERIAL PRODUCTION CONDITIONS

Зацаринный Александр Владимирович
к. т. н., доцент
SPIN-код автора: 4451-9502

Zatsarinny Alexander Vladimirovich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
RSCI SPIN – code: 4451-9502

Зацаринная Ирина Александровна
к. т. н., доцент
SPIN-код автора: 6447-1278
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Zatsarinnaya Irina Alexandrovna
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
RSCI SPIN – code: 6447-1278
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В статье представлен научно-технический обзор современных методов непрерывного выборочного контроля качества восстанавливаемых деталей в условиях серийного производства, включая алгоритмы CSP, расчет планов контроля и интеграцию с цифровыми системами управления. Рассмотрены практические примеры, требования к стабильности процесса, методы адаптации параметров контроля и анализ рисков для обеспечения оптимального соотношения затрат и уровня качества.

The article presents a scientific and technical review of modern methods of continuous sampling quality control of remanufactured parts in serial production conditions, including CSP algorithms, calculation of control plans and integration with digital control systems. Practical examples, requirements for process stability, methods for adapting control parameters and risk analysis to ensure the optimal balance of costs and quality level are considered

Ключевые слова: НЕПРЕРЫВНЫЙ ВЫБОРОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ, СТАТИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ, ДОПУСТИМЫЙ УРОВЕНЬ КАЧЕСТВА, ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

Keywords: CONTINUOUS SAMPLING CONTROL, STATISTICAL PROCESS CONTROL, ACCEPTABLE QUALITY LEVEL, DIGITAL QUALITY MANAGEMENT SYSTEMS

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-220-012>

Введение. В условиях серийного производства, включая технологические процессы восстановления изношенных деталей мобильной техники, обеспечение стабильности выходных характеристик продукции требует применения объективных методов контроля, не основанных исключительно на сплошной проверке [5]. Согласно ГОСТ Р 50779.11-2000, «контроль для определения приемлемости единицы или партии продукции является неотъемлемой частью процесса обеспечения качества» [2]. Традиционная схема приемочного контроля, предполагающая разбиение совокупности изделий на дискретные партии, обладает ограниченной эффективностью в непрерывных технологических потоках по техническим и экономическим

<http://ej.kubagro.ru/2026/06/pdf/12.pdf>

причинам.

Целью исследования является научно-технический обзор и анализ современных методов непрерывного выборочного контроля качества восстанавливаемых деталей в условиях серийного производства, а также разработка рекомендаций по выбору и применению оптимальных планов контроля.

Материалы и методы. В исследовании использованы нормативные документы (ГОСТ Р 50779.11-2000, ГОСТ Р 50779.51-95, ГОСТ 18242-72, ISO 2859-3:2014, ANSI/ASQ Z1.4-2018), а также современные научные публикации по вопросам статистического управления процессами и приемочного контроля. Применены методы математического моделирования, имитационного моделирования на основе цепей Маркова, анализ производственных данных, а также методы статистического анализа (контрольные карты Шухарта, CUSUM, EWMA). Рассмотрены гибридные системы, сочетающие непрерывный выборочный контроль с адаптивными алгоритмами и интеграцией в MES/ИIoT-системы.

Результаты и их обсуждение. Для преодоления ограничений, вызванных дискретным подходом в условиях непрерывного производства, необходим поиск иных моделей контроля, адаптированных к поточному характеру технологических процессов. В качестве таких моделей целесообразно использовать процедуры непрерывного выборочного контроля (Continuous Sampling Plans – CSP), стандартизованные в документах ISO 2859-3:2014, ANSI/ASQ Z1.4-2018 и в актуализированном ГОСТ Р ИСО 2859-1–2023.

Согласно ГОСТ Р 50779.51-95, «непрерывный статистический приемочный контроль (НСПК) является одним из средств обеспечения уверенности потребителя в качестве поставляемой поставщиком продукции, а также средством подтверждения способности поставщика обеспечить требуемое качество поставок продукции, формирование которой в партии

технически невозможно или экономически нецелесообразно» [3]. Указанные методы позволяют производить оценку уровня несоответствий продукции без остановки производственного процесса и без обязательного разделения на партии, что приобретает особое значение при восстановлении деталей, где каждая единица может обладать индивидуальной изменчивостью параметров после наплавки, механической обработки или термоупрочнения.

Алгоритм функционирования непрерывного выборочного контроля базируется на последовательном чередовании режимов сплошной и разреженной проверок в зависимости от наблюдаемой последовательности результатов контроля. «План непрерывного статистического контроля производственного процесса содержит условия переключений между выборочным и сплошным контролем и параметры выборочного и сплошного контроля» [1]. В процессе, находящемся в статистически управляемом состоянии, доля дефектных изделий q флуктуирует относительно некоторого среднего значения, обозначаемого в современной теории качества как средний выходной уровень дефектности (Average Outgoing Quality – AOQ).

При возникновении значимых нарушений технологического режима (например, отклонение параметров наплавки, износ режущего инструмента, температурная дестабилизация отпуска) доля дефектных изделий возрастает, и правильно спроектированная система непрерывного контроля обеспечивает быстрое обнаружение таких нарушений [6, 7]. Классический алгоритм CSP-1, впервые предложенный Доджем и впоследствии включенный в стандарты, реализует следующую процедуру. На начальном этапе выполняется сплошная проверка каждого поступающего изделия. Эта фаза продолжается до тех пор, пока не будет зафиксировано последовательно a пригодных изделий. По выполнении этого условия система переключается в режим выборочного контроля, при котором проверке подвергается только каждая i -я единица продукции, а остальные ($i-1$ из i) прини-

маются без измерений. Если в процессе выборочного контроля обнаруживается хотя бы одно дефектное изделие, система немедленно возвращается к режиму сплошной проверки, и описанный цикл повторяется. Данный алгоритм гарантирует, что при возникновении разладки процесса не более чем за ограниченное число шагов будет зарегистрировано несоответствие, что инициирует корректирующее воздействие.

Выбор параметров плана непрерывного контроля – числа последовательных пригодных изделий a , необходимого для перехода к выборочному режиму, и шага выборки i – осуществляется на основе заданных значений приемочного уровня дефектности (Acceptable Quality Level – AQL) и предельного среднего выходного уровня дефектности (AOQL), а также с учетом величины риска потребителя (ремонтного предприятия). В соответствии с нормативной базой, «при восстановлении деталей выполняют летучий, промежуточный и окончательный контроль. Летучий контроль проводят выборочно как на отдельных операциях технологического процесса, так и на готовых деталях» [4]. Согласно рекомендациям международных стандартов, риск потребителя при непрерывном выборочном контроле обычно принимается равным 0,10, что соответствует вероятности ошибочной приемки партии с неприемлемым уровнем дефектности, не превышающей 10 %. Для ответственных контролируемых параметров (например, посадочные диаметры, твердость поверхностей трения) приемочный уровень дефектности AQL устанавливается равным 1 %, для второстепенных параметров (отдельные угловые размеры, шероховатость поверхностей R_a в диапазоне от 100 до 1,6 мкм, некоторые физико-химические показатели, такие как твердость, упругость) допускается AQL = 4 %. Указанная градация, ранее закрепленная в ГОСТ 16768–71, ГОСТ 16769–84, соответствует современной практике, где AQL = 1 % применяют для критических и значительных дефектов, а AQL = 4 % – для малозначительных дефектов.

Переход от заданных значений AQL и AOQL к конкретной паре (a , i)

в настоящее время выполняется с использованием имитационного моделирования на основе цепей Маркова либо по таблицам, приведенным в стандартах.

В последние годы значительный вклад в развитие этого научного направления внесли исследования отечественных ученых. В частности, предложена методика построения универсального плана непрерывного статистического контроля, базирующаяся на математическом аппарате правил остановки выборочного контроля с учетом числа дефектных изделий в определенной текущей совокупности выпущенных изделий. Данная методика, разработанная Морозовым В.Б. и Гореловым А.С., позволяет назначать технически обоснованные частоту контроля и предельное число дефектных изделий, что значительно увеличивает достоверность результата контроля. «Методика позволяет разрабатывать планы, использующие для переключения оценку большой текущей совокупности проконтролированных изделий, что значительно увеличивает достоверность результата контроля» [1]. Например, если требуемое значение предельного среднего выходного уровня дефектности AOQL составляет 3 % при приемочном уровне AQL = 4 %, то оптимальные параметры плана составляют $a = 18$, $i = 7$. Это означает, что после обнаружения 18 последовательных пригодных изделий оператор технического контроля переходит к проверке каждого седьмого изделия, при этом шесть из семи изделий признаются годными без измерений. При ужесточении требований, например AOQL = 1 % при AQL = 1 %, параметры плана становятся более жесткими: $a = 46$, $i = 3$, то есть проверяется каждое третье изделие, а для перехода к выборочному режиму необходимо накопить 46 пригодных изделий подряд. В обоих случаях гарантируется, что средний выходной уровень дефектности за длительный интервал времени не превысит заданного значения AOQL, а вероятность ошибочного переключения (ложного перехода к ослабленному контролю при фактически разлаженном процессе) остается ниже 0,10.

Стандарты ISO 2859-3 также предусматривают планы с двумя уровнями ослабления (CSP-2 и CSP-3), позволяющие дополнительно сократить объем контроля при длительном стабильном качестве ценой увеличения риска при внезапном возникновении несоответствий. «План CSP-2 отличается тем, что при обнаружении дефектного изделия в фазе выборочного контроля переход в фазу сплошного контроля происходит не сразу, а только после появления второго дефектного изделия на множестве последующих выборок. План CSP-3 отличается еще большей демократичностью» [1].

Применим описанную методологию к конкретному примеру – восстановлению опорного катка гусеничного трактора. Для данной детали контролируются следующие поверхности и параметры: наружная поверхность ступицы с номинальным диаметром 60 мм и полем допуска $60_{-0,1}$ мм; внутренняя поверхность ступицы с диаметром $42^{+0,027}$ мм; обод, для которого нормируется твердость не менее 54 HRC; шероховатость поверхности обода с параметром Ra не более 1,6 мкм. Для наружного диаметра ступицы как ответственного параметра устанавливается AQL = 1 %. Объем запуска в ремонтном цехе составляет 600 деталей. Согласно таблицам стандартов для AQL = 1 % и требуемого AOQL = 1,0 % (средний выходной уровень не должен превышать приемочный) назначается план с $a = 46$ и $i = 3$. Для внутреннего диаметра ступицы, имеющего более жесткий допуск $42^{+0,027}$ мм, также принимается AQL = 1 % при объеме запуска 600 деталей, и план остается тем же ($a = 46$, $i = 3$). Для твердости обода, относящейся к значимым, но не критическим параметрам, может быть принят AQL = 4 % и AOQL = 7,0 %, что соответствует плану $a = 9$, $i = 12$. Для шероховатости обода, если она не влияет на усталостную прочность, а лишь на микрогеометрию, допустим AQL = 4 % при AOQL = 3,0 % – план $a = 18$, $i = 7$. Объем партии (запуска) влияет на выбор плана косвенно через величину риска; при малых объемах (менее 50...100 штук) непрерывный выборочный кон-

троль нецелесообразен, и следует применять либо сплошной контроль, либо стандартные планы выборочного контроля дискретных партий по ISO 2859-1.

В соответствии с отраслевыми требованиями, «при обработке резанием проверяют соответствие размеров, формы, взаимного расположения обработанных поверхностей и их шероховатость требованиям ремонтных чертежей или технических условий» [4].

В последние годы в связи с внедрением производственных исполнительных систем (MES) и промышленного интернета вещей (IIoT) непрерывный выборочный контроль получил развитие в направлении адаптивных схем. Вместо фиксированных параметров a и i применяются алгоритмы, в которых шаг выборки i изменяется в реальном времени на основе байесовского обновления апостериорной вероятности дефектности. Если при проверке каждой третьей детали в течение длительного интервала не наблюдается ни одного несоответствия, система автоматически увеличивает i до 5 или 10, снижая трудоемкость контроля. При обнаружении дефекта i мгновенно уменьшается, а при повторных несоответствиях может быть инициирован сплошной контроль. Такие адаптивные алгоритмы реализованы в программных модулях систем управления качеством (Siemens QMS, SAP Quality Management, Wonderware MES).

Другим направлением является интеграция непрерывного выборочного контроля со статистическим управлением процессами (SPC). Контрольные карты Шухарта, кумулятивных сумм (CUSUM) или экспоненциально взвешенных скользящих средних (EWMA) обрабатывают результаты каждой проверенной детали и подают сигнал о смещении настройки технологического оборудования до того, как будет зафиксирован фактический дефект. В гибридной системе пороговые значения a и i становятся функциями текущего индекса воспроизводимости процесса C_{pk} . При $C_{pk} > 1,33$ контроль ослабляется; при снижении C_{pk} ниже 1,00 контроль автоматиче-

ски переключается в сплошной режим.

Перед внедрением непрерывного выборочного контроля необходимо выполнить предварительный анализ стабильности процесса восстановления. Должны соблюдаться следующие условия: детали восстанавливаются по единой конструкторской документации и спецификациям; технологический процесс не претерпевал существенных изменений на протяжении не менее 100...200 последовательных деталей; через контрольный пункт при сплошной проверке прошло не менее a пригодных изделий подряд для начальной настройки системы. При невыполнении этих условий применение плана непрерывного выборочного контроля (CSP) приводит к неоправданному увеличению риска. Дополнительно рекомендуется разделять случайные колебания дефектности и систематические сдвиги с помощью гистограмм распределения, Q–Q графиков для проверки нормальности и критериев однородности дисперсии (критерий Бартлетта или Левена). Только после подтверждения статистической управляемости процесса следует переходить к выбору параметров плана.

Расчет среднего выходного уровня дефектности AOQ для выбранного плана в современной аналитике выполняется с помощью точных марковских моделей. Для плана CSP-1 справедливо соотношение:

$$AQQ = (q \cdot (1 - F)) / (1 - q + F) \quad (1)$$

где q – входной уровень дефектности на операции,

F – средняя доля сплошного контроля, зависящая от a , i и q .

На практике удобнее пользоваться таблицами ISO 2859-3 или результатами имитационного моделирования в пакетах R (библиотека Acceptance Sampling), Python (statsmodels) либо в специализированном программном обеспечении SimCSP.

Для примера с $a = 46$, $i = 3$ и $q = 0,01$ (1 %) средняя доля сплошного контроля F составляет приблизительно 0,3, а $AOQ \approx 0,0098$ (0,98 %). Для

плана $a = 9$, $i = 12$ при $q = 0,04$ (4 %) F снижается до 0,1, а $AOQ = 0,07$ (7 %). Эти значения согласуются с производственными данными ремонтных заводов. Нормативной базой для таких расчетов служит, в частности, ГОСТ Р 50779.11-2000, который устанавливает процедуры и правила для непрерывного выборочного контроля последовательно изготавливаемых единиц продукции, предусматривая чередование периодов сплошного и выборочного контроля в зависимости от наблюдаемого качества. В соответствии с этим документом, «стандарт устанавливает одноступенчатые, двухступенчатые, многоступенчатые и последовательные планы и порядок проведения статистического приемочного контроля качества продукции по альтернативному признаку для всех видов продукции производственно-технического назначения и товаров народного потребления» [4].

Риск поставщика (ремонтного предприятия) – вероятность забракования пригодной продукции вследствие случайного попадания дефекта в выборку – в непрерывном выборочном контроле обычно несколько выше, чем при контроле дискретных партий. Для большинства восстановленных деталей экономически оправданным является поддержание риска поставщика на уровне 0,05...0,15. Для деталей, критических с точки зрения безопасности (элементы рулевого управления, тормозных систем), непрерывный выборочный контроль не рекомендуется; следует применять 100-процентный неразрушающий контроль или специальные планы нулевого приема ($c=0$). Для рядовых деталей (опорные катки, шестерни, валы, гильзы цилиндров) описанные методы обеспечивают оптимальное соотношение затрат на контроль и достижимого уровня качества.

Выводы. Непрерывный выборочный контроль (CSP), после уточнения математического аппарата и интеграции с методами статистического управления процессами, представляет собой эффективный инструмент обеспечения качества в поточных процессах восстановления деталей. Его внедрение позволяет снизить трудоемкость контрольных операций в 3– 10

раз по сравнению со сплошным контролем при обеспечении вероятности пропуска неприемлемого уровня дефектности не выше 0,10. Ключевым этапом является обоснованный выбор параметров плана (a и i) на основе предварительной оценки стабильности процесса и заданных значений AQL и AOQ в соответствии с конструкторской документацией и отраслевыми стандартами.

Современные MES-системы позволяют автоматизировать сбор данных с измерительных приборов, динамическое переключение режимов контроля и формирование отчетности по показателям качества, что делает непрерывный выборочный контроль неотъемлемой частью цифровых производственных систем.

Список литературы

1. Морозов В.Б., Горелов А.С. Универсальный план непрерывного статистического контроля текущей совокупности изделий // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2025. – DOI: 10.24412/2071-6168-2025-4-51-52.
2. ГОСТ Р 50779.11-2000 (ИСО 3534-2-93) Статистические методы. Статистическое управление качеством. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 2000.
3. ГОСТ Р 50779.51-95 Статистические методы. Непрерывный приемочный контроль качества по альтернативному признаку. – М.: Изд-во стандартов, 1995.
4. ГОСТ 18242-72* Статистический приемочный контроль по альтернативному признаку. Планы контроля. – М.: Изд-во стандартов, 1972.
5. Зацаринный, В. А. Возродить инженерную службу села / В. А. Зацаринный, А. В. Зацаринный, И. А. Зацаринная // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК : Сборник научных статей VII Международной научно-практической конференции в рамках XIX Международной агропромышленной выставки "Агроуниверсал - 2012", Ставрополь, 18–20 марта 2012 года. – Ставрополь: Издательство "АГРУС", 2012. – С. 110-118.
6. Хожай, А. С. Совершенствование организации технического обслуживания и текущего ремонта автобусов ГУП ПАТП "Тихорецкое" г. Тихорецк Краснодарского края / А. С. Хожай, А. В. Зацаринный // Пути развития транспортно-технологических процессов и эксплуатации автомобильного транспорта : Тезисы докладов 74 международной студенческой научной конференции, Зерноград, 07 апреля – 11 2015 года. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Донской государственный аграрный университет" в г. Зернограде, 2015. – С. 76-77.
7. Скакунов, А. О. Совершенствование организации технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей ООО "Волгодонскводстрой" г. Волгодонск Ростовской области / А. О. Скакунов, А. В. Зацаринный // Пути развития транспортно-технологических процессов и эксплуатации автомобильного транспорта : Тезисы до-

кладов 74 международной студенческой научной конференции, Зерноград, 07 апреля – 11 2015 года. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Донской государственный аграрный университет" в г. Зернограде, 2015. – С. 68-70.

References

1. Morozov V.B., Gorelov A.S. Universal'nyj plan nepreryvnogo statisticheskogo kontrolja tekushhej sovokupnosti izdelij // Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki. – 2025. – DOI: 10.24412/2071-6168-2025-4-51-52.
2. GOST R 50779.11-2000 (ISO 3534-2-93) Statisticheskie metody. Statisticheskoe upravlenie kachestvom. Terminy i opredelenija. – M.: Izd-vo standartov, 2000.
3. GOST R 50779.51-95 Statisticheskie metody. Nepreryvnyj priemochnyj kontrol' kachestva po al'ternativnomu priznaku. – M.: Izd-vo standartov, 1995.
4. GOST 18242-72* Statisticheskij priemochnyj kontrol' po al'ternativnomu priznaku. Plany kontrolja. – M.: Izd-vo standartov, 1972.
5. Zacarinnij, V. A. Vozrodit' inzheneruju sluzhbu sela / V. A. Zacarinnij, A. V. Zacarinnij, I. A. Zacarinnaja // Aktual'nye problemy nauchno-tehnicheskogo progressa v APK : Sbornik nauchnyh statej VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii v ramkah XIX Mezhdunarodnoj agropromyshlennoj vystavki "Agrouniversal - 2012", Stavropol', 18–20 marta 2012 goda. – Stavropol': Izdatel'stvo "AGRUS", 2012. – S. 110-118.
6. Hozhaj, A. S. Sovershenstvovanie organizacii tehničeskogo obsluzhivaniya i tekushhego remonta avtobusov GUP PATP "Tihoreckoe" g. Tihoreck Krasnodarskogo kraja / A. S. Hozhaj, A. V. Zacarinnij // Puti razvitija transportno-tehnologičeskikh processov i jekspluatacii avtomobil'nogo transporta : Tezisy dokladov 74 mezhdunarodnoj studencheskoj nauchnoj konferencii, Zernograd, 07 aprilja – 11 2015 goda. – Zernograd: Azovo-Chernomorskij inzhenernyj institut Federal'nogo gosudarstvennogo bjudzhetnogo obrazovatel'nogo uchrezhdenija vysshego professional'nogo obrazovanija "Donskoj gosudarstvennyj agrarnyj universitet" v g. Zernograde, 2015. – S. 76-77.
7. Skakunov, A. O. Sovershenstvovanie organizacii tehničeskogo obsluzhivaniya i tekushhego remonta avtomobilej OOO "Volgodonskvodstroj" g. Volgodonsk Rostovskoj oblasti / A. O. Skakunov, A. V. Zacarinnij // Puti razvitija transportno-tehnologičeskikh processov i jekspluatacii avtomobil'nogo transporta : Tezisy dokladov 74 mezhdunarodnoj studencheskoj nauchnoj konferencii, Zernograd, 07 aprilja – 11 2015 goda. – Zernograd: Azovo-Chernomorskij inzhenernyj institut Federal'nogo gosudarstvennogo bjudzhetnogo obrazovatel'nogo uchrezhdenija vysshego professional'nogo obrazovanija "Donskoj gosudarstvennyj agrarnyj universitet" v g. Zernograde, 2015. – S. 68-70.